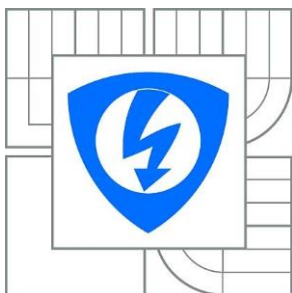


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ŘÍZENÍ KAMEROVÉHO SLIDERU

CAMERA SLIDER CONTROL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

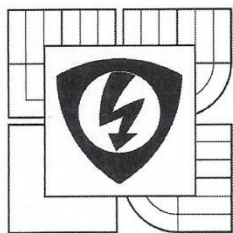
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DAVID RAJNOCH

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ROMAN MEGO

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: David Rajnoch
Ročník: 3

ID: 146938
Akademický rok: 2013/14

NÁZEV TÉMATU:

Řízení kamerového slideru

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s konstrukcí a funkcí zařízení pro pomalý posuv fotoaparátů a kamer (tzv. sliderů) pro časosběrné snímky. Navrhněte vlastní zapojení a způsob řízení posunu. Vyberte vhodné komponenty (motor, řídicí mikrokontroler) a otestujte základní řízení.

Zvažte možnost „naučení“ nestejnoměrné rychlosti posunu (zaznamenání mechanického posunu a jeho řízení zopakování). Sestavte řídicí jednotku a naprogramujte vhodné ovládání. Otestujte celkové vlastnosti zařízení, spotřebu a spolehlivost.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry Atmel AVR. BEN - technická literatura, Praha, 2003.

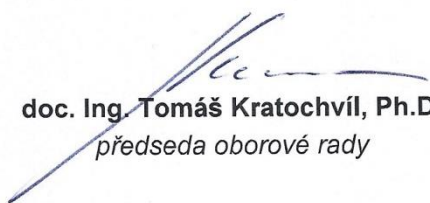
[2] BARR, M., MASSA, A. Programming Embedded Systems with C and GNU Development Tools, 2/E. Sebastopol: O'Reilly, 2006.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 30.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Roman Mego

Konzultanti bakalářské práce:


doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací digitálního ovladače krokového motoru, který umožňuje pohyb kamery na kamerovém slideru. Základními prvky jsou mikroprocesor ATmega16 a driver krokového motoru Toshiba TB6560. Ovládání umožňuje režim časosběrného snímání a plynulý lineární pohyb kamery včetně plynulého rozjezdu a zpomalení. Ovládací rozhraní je založeno na joysticku a displeji připojeném pomocí HD44780. Teoretická část se zabývá řízením a teorií krokových motorů. V praktické části je navrženo propojení jednotlivých komponent a deska plošných spojů. Poslední část se věnuje testování parametrů zařízení a jeho spolehlivosti včetně energetické bilance.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kamerový slider, řízení krokového motoru, driver krokového motoru, Toshiba TB6560, ATmega16, Atmel AVR, C pro AVR

ABSTRACT

This bachelor thesis describes design and implementation of stepper motor digital controller that manages camera slide movement. The main elements are microcontroller ATmega16 and stepper motor driver TOSHIBA TB6560. Controller allows a time-lapse mode and continuous linear movement including smooth start and stop. Human interaction is based on joystick input and text display connected via HD44780 interface. The theoretical part describes stepper motors and their control modes. The practical part deals with design of electronic circuit and test of functionality.

KEYWORDS

Camera slider, stepper motor control, stepper motor driver, Toshiba TB6560, ATMEGA16, Atmel AVR, AVR C programming

RAJNOCH, D. *Řízení kamerového slideru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2013. 46 s., 4 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Roman Mego

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Řízení kamerového slideru jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Romanu Megovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé semestrální práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	ix
Úvod	10
1 Teorie Kamerové techniky	11
1.1 Popis kamerového slideru	11
1.2 Princip časosběrného snímání (Timelapse)	11
1.3 Plynulý pohyb a hlavní nároky při použití ve videu	12
2 Teorie krokových motorů	13
2.1 Základní parametry	13
2.2 Konstrukce krokového motoru	14
2.2.1 Krokový motor s pasivním rotorem (Variable reluctance)	14
2.2.2 Krokový motor s aktivním rotorem (Permanent Magnet)	14
2.2.3 Hybridní krokový motor (Hybrid)	15
2.3 Způsoby zapojení krokových motorů	15
2.3.1 Unipolární zapojení.....	15
2.3.2 Bipolární zapojení.....	16
2.4 Metody řízení krokových motorů	16
2.4.1 Unipolární jednofázové řízení s plným krokem	16
2.4.2 Unipolární dvoufázové řízení s plným krokem	17
2.4.3 Unipolární řízení s polovičním krokem	17
2.4.4 Bipolární jednofázové řízení s plným krokem.....	17
2.4.5 Bipolární dvoufázové řízení s plným krokem.....	18
2.4.6 Bipolární řízení s polovičním krokem	18
2.4.7 Mikrokrokování	19
3 Teorie použitých periférií	21
3.1 Driver krokového motoru Toshiba TB6560AHQ.....	21
3.2 Využívané periferie ATmega16.....	23
3.2.1 Čítač/časovač 0	23
3.2.2 Čítač/časovač 1	24

3.2.3	A/D převodník	24
3.3	Vzdálené spuštění expozice fotoaparátu	24
4	Návrh obvodu	26
4.1	Propojení s MCU	26
4.2	Napájení	27
4.3	Propojení a nastavení driveru	28
4.4	IR brána kalibrace	28
4.5	Obvod dálkové spouště fotoaparátu	29
5	Řídící program	30
5.1	Kalibrace	30
5.2	Generování impulsů pro driver	30
5.3	Režim 1	31
5.4	Režim 2	32
5.5	Režim 3 (časosběr)	33
5.6	Režim načtení pohybu	33
6	Mechanická konstrukce	34
7	Zhodnocení vlastností	36
7.1	Časová přesnost	36
7.2	Energetická bilance	37
7.3	Možnosti doplnění	38
8	Závěr	39
	Literatura	40
	Seznam symbolů, veličin a zkratek	41
	Seznam příloh	42

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1: Čtyřfázový motor s pasivním rotorem (převzato z [2]).....	14
Obr. 2.2: Dvoufázový motor s aktivním rotorem (převzato z [2]).	14
Obr. 2.3: Řez hybridním krokovým motorem (převzato z [2]).	15
Obr. 2.4: Unipolární zapojení vodičů.	15
Obr. 2.5: Bipolární zapojení vodičů a) paralelně, b) sériově.	16
Obr. 2.6: Schematické zapojení H-můstku.	19
Obr. 2.7: Velikost proudu v obou fázích v jednotlivých mikrokrocích (převzato z [4]).	20
Obr. 3.1: Blokové zapojení driveru TB6560 (převzato z [4]).	22
Obr. 3.2: Konektor N3	25
Obr. 3.3: Elektrické zapojení spouště (převzato z [9]).	25
Obr. 4.1: Základní blokové schéma zařízení	26
Obr. 4.2: Schéma zapojení kalibrační IR brány.....	28
Obr. 4.3: Schéma zapojení optočlenů	29
Obr. 4.4: Zapojení pinů kabelové redukce.....	29
Obr. 5.1: Stavový diagram aplikace.....	30
Obr. 5.2: Princip rychlého PWM režimu ATmega16 (převzato z [1]).	31
Obr. 5.3: Vývojový diagram druhého režimu.....	32
Obr. 6.1: Trakční část	34
Obr. 6.2: Návrh dílů sloužících k uchycení trakční části.....	34
Obr. 6.3: Řídicí jednotka v plastové krabici.....	35
Obr. 7.1: Graf závislosti celkového odběru proudu na rychlosti otáčení	38

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1: Řídící sekvence unipolární, jednofázové řízení s plným krokem.....	16
Tab. 2.2: Řídící sekvence unipolární, jednofázové řízení s plným krokem.....	17
Tab. 2.3: Řídící sekvence unipolární řízení s polovičním krokem	17
Tab. 2.4: Řídící sekvence bipolární, jednofázové řízení s plným krokem.....	18
Tab. 2.5: Řídící sekvence bipolární, dvoufázové řízení s plným krokem	18
Tab. 2.6: Řídící sekvence bipolární řízení s polovičním krokem	19
Tab. 3.1: Nejdůležitější piny driveru Toshiba TB6560	22
Tab. 3.2: Tabulka řídicích režimů.....	23
Tab. 3.3: Nastavení vstupu čítače (převzato z [3])	23
Tab. 7.1: Měření času mezi dvěma fotografiemi v závislosti na vzdálenosti přesunu ...	36
Tab. 7.2: Příkon a odebíraný proud při napájení 12V	37

ÚVOD

Tato práce se zabývá návrhem řešení digitálního řízení motoru, jehož úkolem je automatizovaný lineární pohyb fotoaparátu na kamerovém slideru. Velký důraz je kladen na efektivní, jednoduché a spolehlivé využití ve filmové praxi. Téma bylo voleno z důvodu vlastní činnosti v oblasti audiovizuální tvorby a výsledek práce by měl nalézt využití mezi vlastním filmovým vybavením. Řízení umožňuje časosběrný záznam, kdy je snímán vždy jeden snímek za určitý časový úsek doprovázený skokovým pohybem fotoaparátu a plynulý pohyb s nerovnoměrnou rychlostí ve dvou režimech.

Úvodní část práce se věnuje popisu teorie krokových motorů. Tyto informace jsou hodnotné především pro člověka, zabývající se konstrukcí pohyblivých výrobků od robotů, přes 3D tiskárny až po CNC obráběcí stroje. Je objasněn princip mechanického sestavení a elektrického zapojení včetně ukázky řízení. Jen velmi selektivně je zahrnut popis mikrokontroléru ATmega16.

Druhou částí práce je návrh hardwarového řešení, obsahujícího mikrokontrolér, vstupní rozhraní pomocí joysticku, tlačítko, displej a výkonovou část. Vše je navrženo tak, aby byla zachována maximální efektivnost a spolehlivost při použití v náročných filmových podmínkách. Deska je navržena v programu Eagle. Tato část se také zabývá dílčími bloky, jako je galvanické oddělení fotoaparátu a kalibrace.

Další text se věnuje návrhu programu pro řízení. Text popisuje jednotlivé režimy, jejich uživatelské rozhraní a základní postupy, při využití mikrokontroléru. Dále je rozebrána trakční část, která byla navržena s ohledem na využití již vlastněného kamerového slideru.

Poslední část se zabývá otestováním výrobku, určením jeho omezení, energetickou náročností a případným dalším rozšířením. Jdou také diskutovány slabé stránky návrhu.

1 TEORIE KAMEROVÉ TECHNIKY

V této kapitole jsou objasněny základní informace týkající se funkční stránky kamerových sliderů. Je objasněn význam použití, způsob konstrukce a je poukázáno na nároky pro pohyb.

1.1 Popis kamerového slideru

Kamerová jízda je zařízení, které již několik desítek let slouží kameramanům k lineárnímu pohybu kamery. V posledních několika letech se díky rozvoji digitálního filmového záznamu a zmenšení záznamové techniky začaly používat zjednodušené zařízení zvané kamerové slidery. Ty mají za úkol stejný posuv kamery jako kamerová jízda, jsou však většinou omezeny maximální délkou a také hmotností kamery.

Způsob realizace se liší podle výrobce, zjednodušeně se však jedná o lineární vedení podobné tomu, které je použito u obráběcích CNC strojů. Délka vedení se nejčastěji pohybuje okolo 80 - 160 cm, což určuje maximální změnu polohy kamery. Na vedení je umístěn vozík, který pomocí kluzných ploch nebo ložisek umožňuje plynulý pohyb v jedné ose.

Rozšířením o stejnosměrný motor, servomotor nebo krokový motor s vhodnou trakční částí, může být slider doplněn o automatické řízení. Toto vylepšení je výhodné především díky možnosti dvakrát opakovat stejný pohyb, což může být vhodné pro některé trikové záběry nebo usnadňuje kameramanovi plynulý pohyb kamery.

Kamerový slider je zařízení vhodné pro menší produkce a především digitální zrcadlovky (DSLR). Právě segment zrcadlovek se v posledních pěti letech stal velmi populárním řešením k natáčení, především nízkorozpočtových filmů, reklam nebo videoklipů.

1.2 Princip časosběrného snímání (Timelapse)

Jedná se o techniku snímání obrazového záznamu, jejíž podstatou je expozice obrázků s frekvencí menší, než jaká je běžně používaná při záznamu videa. Jedná se tedy o frekvenci 23 a méně snímků za sekundu, přičemž prakticky je zajímavé snímání až pod jeden snímek za sekundu. Složením snímků do videosekvence vzniká n-krát zrychlený záznam. Konstantu n lze vypočítat pomocí vztahu

$$n = \frac{FV}{FF}, \quad (1.1)$$

kde FV je počet snímků za sekundu výsledného videa a FF je počet snímků za sekundu pořízených při časosběru. Zcela jedinečným rozvojem byla pro časosběr právě možnost využití automatického řízení při pohybu po lineární dráze. Technicky se jedná o změnu polohy fotoaparátu mezi každým jedním snímkem o konstantní vzdálenost. Tímto je docíleno větší emotivnosti záběrů a lepšího vizuálního vjemu na pozorujícího diváka.

Z pohledu návrhu a nastavení tohoto systému jsou důležité tři hodnoty. Maximální dráha pohybu, doba čekání mezi dvěma snímky (převrácená hodnota snímkové frekvence) a rozdíl v poloze mezi dvěma fotkami. Poslední hodnotu je možné určit také počtem kroků na celou dráhu posuvu. Obsluhu přístroje pak bude hlavně zajímat doba čekání mezi dvěma snímky a rozdíl v poloze. Během čekání je také potřeba aktivovat spoušť fotoaparátu.

1.3 Plynulý pohyb a hlavní nároky při použití ve videu

Z režimu časosběru se nyní vracíme od samostatných fotografií zpět k videu. Lineární pohyb ve videu je využíván nejen pro sledování pohybujících se objektů ale především ke zdůraznění atmosféry a emocí. Hlavními nároky na pohyb kamery jsou plynulost a v případě rovnoměrného pohybu konstantní rychlost.

Je také důležité, aby bylo možné nastavit plynulý začátek pohybu, tedy rovnoměrné zrychlení z nulové rychlosti, stejně tak jako rovnoměrné zpomalení před návratem do nulové rychlosti. Společným nárokem obou režimů je schopnost udržet polohu při působení gravitační síly. Může se stát, že slider bude použit pod jistým úhlem elevace.

2 TEORIE KROKOVÝCH MOTORŮ

Jedná se o motory, které našly své velké uplatnění v robotice, automobilovém průmyslu nebo CNC aplikacích. První zmínky jsou spojeny s udělením patentu v r. 1925 dostupného z [11]. Jejich hlavní předností je možnost přesného nastavení polohy a schopnost udržet tuto polohu i v případě, že se nepohybují. Jejich buzení je vhodné pro ovládání pomocí číslicových obvodů a v případě dobrého dimenzování není potřeba ke sledování změny natočení zpětné vazby ale pouhého počítání kroků. Mezi jejich nevýhody patří vyšší pořizovací náklady a nepříliš dobrý poměr výkonu vůči hmotnosti [8].

Krokové motory se nepohybují spojitě, ale v diskrétních krocích, což je pro požadovaný plynulý pohyb spíše nevýhodou. Změnu o jeden krok představuje pohyb z jedné magnetické klidové polohy do nejbližší takovéto polohy a jeho velikost je dána technickým zpracováním motoru. Nejčastěji se setkáme s motory, jejichž rozlišení je 200 kroků na otáčku o 360 stupňů (1.8 stupně na krok). Toto rozlišení je možno dále zlepšovat pomocí technik popsanych níže v textu, bude tedy zcela dostačovat k vytvoření velmi plynulého pohybu [7].

2.1 Základní parametry

Při výběru krokového motoru je důležité správné přizpůsobení parametrů pro danou aplikaci. Mezi elektrické parametry patří indukčnost, odpor a jmenovitý proud vinutí (vždy pro sériové / paralelní zapojení). Mezi mechanické parametry patří:

Velikost kroku α - úhel odpovídající změně polohy mezi dvěma magnetickými rovnovážnými polohami.

Statický úhel zátěže β - úhel vychýlení z magnetické klidové pozice, při dané zátěži na hřídeli motoru.

Statický moment M_s - moment, který je v rovnováze s krouticím momentem působícím na hřídel stojícího nabuzeného krokového motoru a vychylujícím rotorem z magnetické klidové polohy o statický úhel zátěže. Maximální statický moment je při vychýlení rotoru právě o velikost kroku α .

Otáčky rotoru - jsou určeny kmitočtem kroků f_k tj. počtem kroků za sekundu, které vykoná rotor krokového motoru. Kmitočet kroků f_k je stejný jako řídicí kmitočet řídicího signálu f_s v případě, když se rotor otáčí bez ztráty kroku. Otáčky určíme pomocí vztahu

$$n = \frac{60 \cdot f_k \cdot \alpha}{360}, \quad (2.2)$$

kde n je počet otáček za minutu, f_k je kmitočet kroků v Hz a α je velikost kroku ve stupních [2].

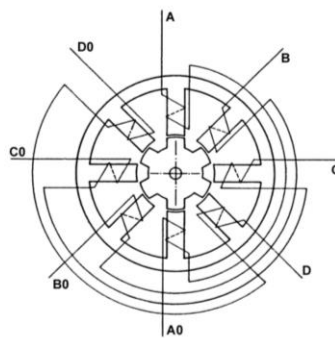
2.2 Konstrukce krokového motoru

Během let bylo vyvinuto několik typů krokových motorů, které se liší mechanickou konstrukcí. Krokové motory můžeme podle konstrukce rozdělit do několika skupin.

2.2.1 Krokový motor s pasivním rotorem (Variable reluctance)

Rotor tohoto motoru tvoří svazek plechů z magneticky měkkého materiálu, nalisovaných na hřídel. Stejně tak je tvořen stator. Na plechy statoru jsou navinuty statorové cívky, kterými je buzeno magnetické pole v motoru.

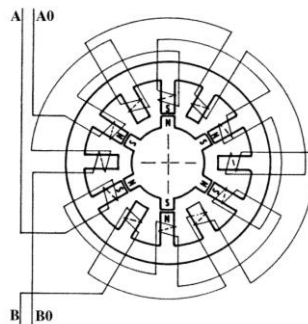
Na obr. 2.1 vidíme řez čtyřfázovým motorem s pasivním rotorem. Je tvořen 6 póly rotoru a 8 póly statoru. Statorové póly mají společně zapojené vždy dvě protější cívky a ty tvoří jednu fázi motoru. Přepínáním mezi fázemi A, B, C a D dochází k otáčení motoru [2].



Obr. 2.1: Čtyřfázový motor s pasivním rotorem (převzato z [2]).

2.2.2 Krokový motor s aktivním rotorem (Permanent Magnet)

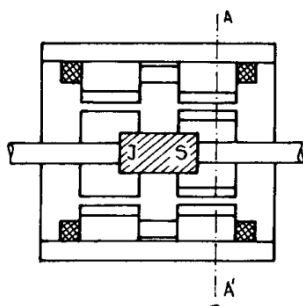
Rotor tohoto motoru tvoří permanentní magnety orientované směrem od osy otáčení se střídajícími se severními a jižními póly. Statorové vinutí je navinuto stejně jako u pasivního motoru a počet pólů je oproti rotorovým pólům dvojnásobný. Jedna fáze je vytvořena spojením protilehlých pólů, je ovšem třeba budit tyto cívky v opačné polarizaci, neboť magnetické pole rotoru je opačné. Na obr. 2.2 je znázorněn motor s aktivním rotorem obsahující 6 pólů rotoru a 12 statoru [2].



Obr. 2.2: Dvoufázový motor s aktivním rotorem (převzato z [2]).

2.2.3 Hybridní krokový motor (Hybrid)

Jedná se o nejnovější a nejpoužívanější konstrukci krokového motoru. Stator je tvořen permanentním magnetem polarizovaným axiálně (ve směru osy), na jehož koncích jsou umístěny dva pólové nástavce. Tyto nástavce mají zuby, které určují velikost jednoho kroku a opačné póly na rotoru jsou proti sobě navzájem pootočený o polovinu zubové rozteče. Vinutí statoru je rozděleno na několik pólů, které jsou dále opatřeny drážkami. Postupným buzením cívek statoru je dosaženo změny magnetického pole a tím i otáčení motoru [2].



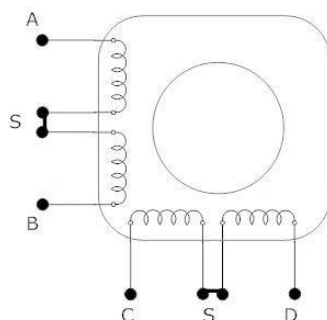
Obr. 2.3: Řez hybridním krokovým motorem (převzato z [2]).

2.3 Způsoby zapojení krokových motorů

Vinutí krokových motorů umožňuje dvojí zapojení. V následujícím textu jsou rozebrány unipolární a bipolární zapojení a jejich výhody či nevýhody.

2.3.1 Unipolární zapojení

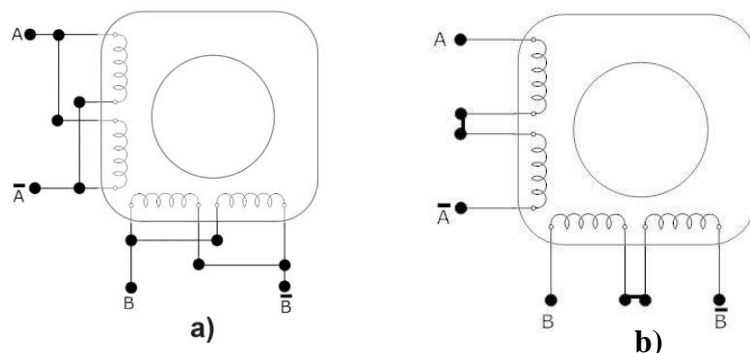
Zapojení krokového motoru unipolárně využívá na každou fázi, třech vodičů. Dohromady je využito šest vodičů tak, jak ukazuje obr. 2.4. Pro jednu fázi jsou jednotlivé cívky uprostřed spojeny a vyvedeny na společný zemnicí vodič. Zemnicí vodiče obou fází označené jako S mohou být spojeny do jednoho a tím je zapojení zjednodušeno na 5 vodičů. Zapojení je využíváno při unipolárním řízení motoru. Jedná se o nejjednodušší variantu, která nevyžaduje měnit směr proudu v cívce.



Obr. 2.4: Unipolární zapojení vodičů.

2.3.2 Bipolární zapojení

V tomto zapojení jsou cívky zapojeny v jedné fázi vždy společně a to sériově (obr. 2.5b) nebo paralelně (obr. 2.5a). Směr proudu v cívkách se mění předřazeným obvodem. Zapojení sériové vykazuje vyšší indukčnost ale nižší proud vinutím. Paralelní zapojení má výhodu v menší indukčnosti, ale vyžaduje větší proud. Většina dodávaných motorů obsahuje 8 vodičů, které jsou připojeny vždy dva k jedné cívce. To umožní použití ve kterémkoliv s předcházejících zapojení.



Obr. 2.5: Bipolární zapojení vodičů a) paralelně, b) sériově.

2.4 Metody řízení krokových motorů

Existuje několik možností, jakými lze řídit buzení cívek krokových motorů. Liší se především proudovým odběrem, točivým momentem motoru a minimálním pootočením jeho osy. Pro zjednodušení je zaveden model krokového motoru, který obsahuje pouze 4 cívky. Každé z těchto řízení je vhodné pro jiný typ aplikace.

2.4.1 Unipolární jednofázové řízení s plným krokem

Jedná se o nejjednodušší zapojení s malými hardwarovými nároky. Cívky jsou přepínány ve čtyřech krocích, přičemž v každém okamžiku je magnetována pouze jedna fáze. V každém dalším kroku se magnetuje následující cívka a stator se tak pootočí o definovanou vzdálenost.

Ovládání procesorem je možné realizovat pouze pomocí výkonových tranzistorů. Jedná se o energeticky nejméně náročnou variantu, která však poskytuje nejmenší statický moment. Řídící sekvence mikrokontroléru je zobrazena v tab. 2.1 [7].

Tab. 2.1: Řídící sekvence unipolární, jednofázové řízení s plným krokem

Krok	1.	2.	3.	4.
Cívka 1	1	0	0	0
Cívka 2	0	1	0	0
Cívka 3	0	0	1	0
Cívka 4	0	0	0	1

2.4.2 Unipolární dvoufázové řízení s plným krokem

Toto zapojení se od předchozího liší v počtu paralelně sepnutých cívek a přináší výhodu zvýšení statického momentu. Cívky jsou přepínány opět ve čtyřech krocích, přičemž v každém okamžiku jsou stejnou polaritou magnetovány dvě sousední cívky.

V dalším kroku se tato dvojice cívek přepíná o jeden pól. Ovládání je stále možno realizovat pomocí výkonových tranzistorů. Řídící sekvence je zobrazena v tab. 2.2. Sepnutí dvou cívek v jednom momentě přináší výhodu zvýšení statického momentu 1,9-krát zároveň ale zdvojnásobuje spotřebu [7].

Tab. 2.2: Řídící sekvence unipolární, jednofázové řízení s plným krokem

Krok	1.	2.	3.	4.
Cívka 1	1	1	0	0
Cívka 2	0	1	1	0
Cívka 3	0	0	1	1
Cívka 4	1	0	0	1

2.4.3 Unipolární řízení s polovičním krokem

Jedná se o kombinaci předchozích dvou postupů. V lichých krocích ponechává řízení jednofázové a v sudých dvoufázové. Tímto je docíleno dvojnásobného zvýšení počtu kroků na otáčku. Nevýhodou je proměnlivý statický moment a z toho vyplývající nutnost zařízení dimenzovat na hodnotu nižší, přičemž odběr zůstává 1,5-krát větší, než v případě jednofázového řízení motoru s dvojnásobným počtem kroků. Tabulka 2.3 zachycuje řídící sekvenci pro tento typ řízení [7].

Tab. 2.3: Řídící sekvence unipolární řízení s polovičním krokem

Krok	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Cívka 1	1	1	0	0	0	0	0	1
Cívka 2	0	1	1	1	0	0	0	0
Cívka 3	0	0	0	1	1	1	0	0
Cívka 4	0	0	0	0	0	1	1	1

2.4.4 Bipolární jednofázové řízení s plným krokem

Při bipolárním řízení jsou buzeny dvě protilehlé cívky opačným magnetickým polem. Na stator tak působí silnější magnetické pole, což zvětšuje jak statický moment, tak odebíraný proud. Každé bipolární zapojení vyžaduje dvojnásobný proud oproti jednofázovému a také potřebu budit cívku opačným proudem. K tomu se využívá buzení H-můstky. Řídící sekvence je vyznačena v tab. 2.4, přičemž opačný směr magnetického pole je značen log. 1 na vodiči Cívka x- [7].

Tab. 2.4: Řídící sekvence bipolární, jednofázové řízení s plným krokem

Krok	1.	2.	3.	4.
Cívka 1+	1	0	0	0
Cívka 2+	0	1	0	0
Cívka 3+	0	0	1	0
Cívka 4+	0	0	0	1
Cívka 1-	0	0	1	0
Cívka 2-	0	0	0	1
Cívka 3-	1	0	0	0
Cívka 4-	0	1	0	0

2.4.5 Bipolární dvoufázové řízení s plným krokem

Toto zapojení využívá všech čtyř cívek krokového motoru v každém ze čtyř kroků, jak zobrazuje tab. 2.5. Proudový odběr oproti zapojení unipolárnímu jednofázovému je čtyřikrát větší, při stejném kroku. Jedná se o řízení s největším statickým momentem, je proto vhodné pro použití v kamerovém slideru [7].

Tab. 2.5: Řídící sekvence bipolární, dvoufázové řízení s plným krokem

Krok	1.	2.	3.	4.
Cívka 1+	1	1	0	0
Cívka 2+	0	1	1	0
Cívka 3+	0	0	1	1
Cívka 4+	1	0	0	1
Cívka 1-	0	0	1	1
Cívka 2-	1	0	0	1
Cívka 3-	1	1	0	0
Cívka 4-	0	1	1	0

2.4.6 Bipolární řízení s polovičním krokem

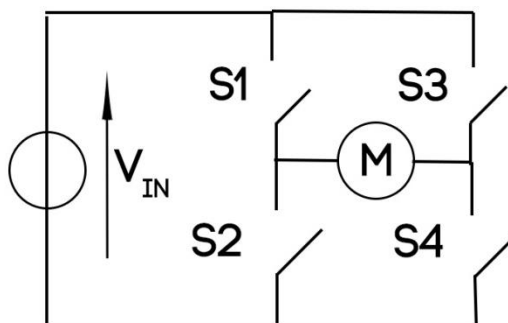
Jedná se o poslední metodu řízení krokových motorů bez mikrokrokování. Stejně jako při unipolární jsou střídány režimy jednofázové a dvoufázové, které zvyšují přesnost natočení na dvojnásobek. Sekvence je zobrazena v tab. 2.6 [7].

Tab. 2.6: Řídící sekvence bipolární řízení s polovičním krokem

Krok	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Cívka 1+	1	1	0	0	0	0	0	1
Cívka 2+	0	1	1	1	0	0	0	0
Cívka 3+	0	0	0	1	1	1	0	0
Cívka 4+	0	0	0	0	0	1	1	1
Cívka 1-	0	0	0	1	1	1	0	0
Cívka 2-	0	0	0	0	0	1	1	1
Cívka 3-	1	1	0	0	0	0	0	1
Cívka 4-	0	1	1	1	0	0	0	0

Všechny tyto metody jsou vhodné pro přímou realizaci pomocí mikroprocesoru, propojením přes H-můstek nebo tranzistory. Schéma zapojení si zobrazuje obr 2.6. Jistou nevýhodou je v takovém případě nutnost vytvořit externí proudový omezovač, jinak by docházelo k nešetrnému využívání energie ze zdroje.

Minimální rozlišení kroku je určeno mechanickým sestavením motoru a nejmenší krok je tedy stanoven výrobou, což může být nevhodné při potřebě jemnějšího rozlišení. Při nízkých otáčkách dále může docházet k velkým rezonancím motoru. Řešení těchto nedostatků nabízí řízení pomocí mikrokrokování a PWM modulace signálu.



Obr. 2.6: Schematické zapojení H-můstku.

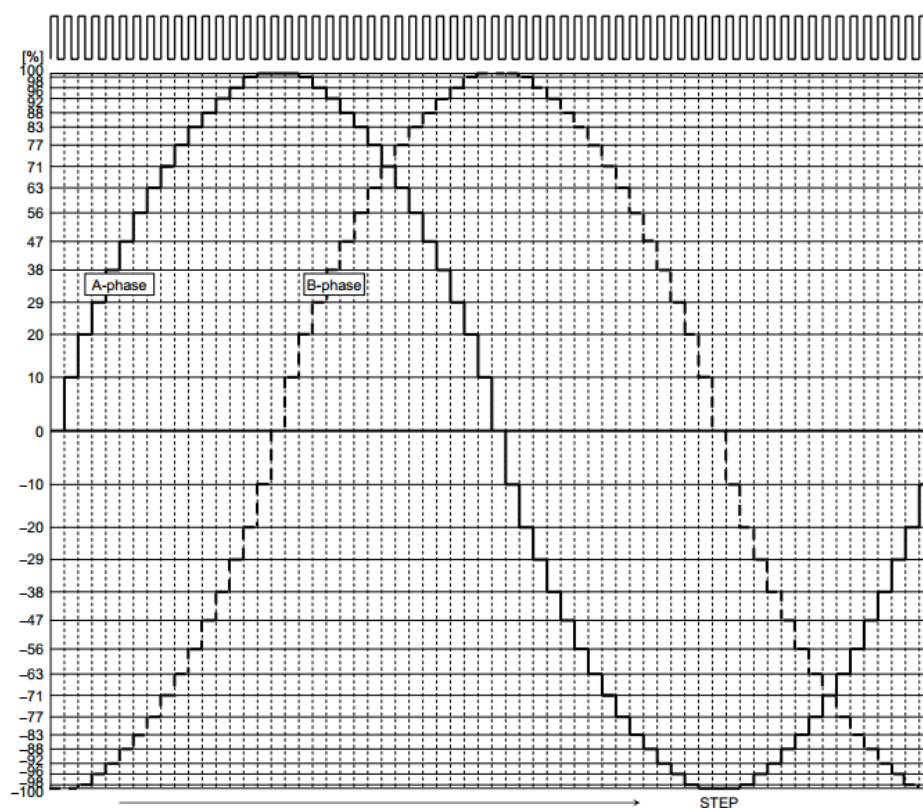
2.4.7 Mikrokrokování

Mikrokrokování je způsob, jakým lze magnetické pole statoru měnit přesněji a plynuleji, než při celokrokovém a půlkrokovém ovládání. Generuje menší vibrace motoru a umožňuje větší počet kroků, tedy lepší nastavení polohy. Každý krok je rozdělen na určitý počet mikrokroků o stejné délce. Tento počet může dosahovat až 128 mikrokroků na jeden krok.

Při běžném dvoufázovém řízení prochází stejný stejnosměrný proud oběma sousedními cívkami. Tento proud je charakterizován dvěma hladinami: I_{on} a I_{of} . Zvyšováním počtu hodnot, které může proud v dvou sousedních cívkách dosahovat, je

možné dosáhnout mnoha ustálených poloh mezi běžným krokem motoru.

K regulaci proudu je potřeba více hladinového napájecího zdroje. V číslicové technice se nejčastěji používá pulzně šířková modulace PWM. Omezením proudu pomocí PWM lze také snadno nastavovat maximální točivý a statický moment. Na obrázku je zobrazen průběh proudu ve dvou fázích vinutí krokového motoru pro režim s 16 mikrokroků na jeden normální krok [6].



Obr. 2.7: Velikost proudu v obou fázích v jednotlivých mikrokrocích (převzato z [4]).

3 TEORIE POUŽITÝCH PERIFÉRIÍ

Procesor ATmega16 patří k velmi rozšířeným a je možné najít množství informací a diskuzí, použitelných k řešení problémů. Není proto třeba popisovat podrobně architekturu apod. Následující text krátce popisuje pouze použité periferie procesoru a také driver krokového motoru.

3.1 Driver krokového motoru Toshiba TB6560AHQ

Jedná se o driver s možností PWM krokování navržený k řízení bipolárních krokových motorů. TB6560 může být použit v aplikacích vyžadující 2-fázové buzení nebo mikrokrokování.

Tento obvod je schopen řízení otáčení v obou směrech, otáčení při nízkých vibracích a to ovládáním pouze pomocí několika řídicích signálů. Obvod se vyrábí ve dvou pouzdrech. Pouzdro značené jako TB6560AFG dosahuje oproti pouzdru TB6560AHQ menšího špičkového proudu 2,5A/fázi [4].

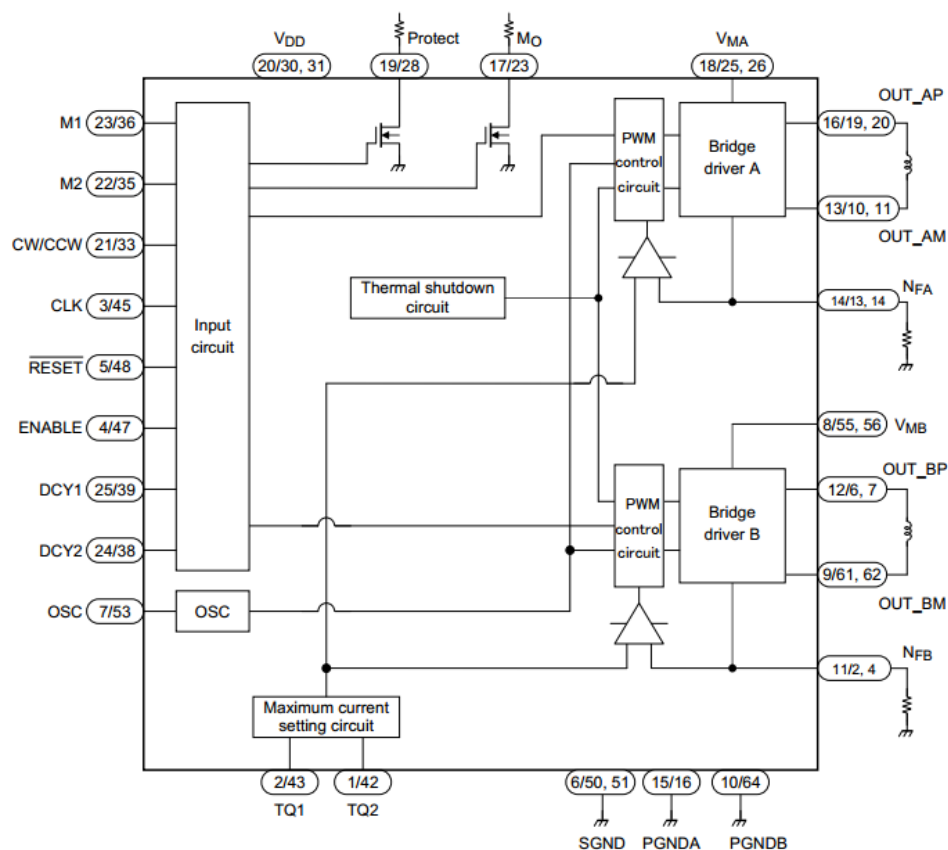
Vlastnosti

- Výstupní napětí 4,5 – 34V
- Maximální výstupní proud – 3,5 A/fázi
- Vestavěné pull-down rezistory
- Ochrana pomocí tepelného obvodu
- Možnost nastavení výstupního proudu pomocí referenčního odporu a ve čtyřech úrovních digitálně

Z vnitřního blokového schématu na obr. 3.1 je patrné, že obvod obsahuje dvě PWM jednotky, každá generující signál pro jeden H můstek. K PWM jednotce je dále připojena zpětná vazba nastavující maximální proud, prakticky tedy šířku pulzu. Nastavení vnitřní frekvence driveru je provedeno pomocí vnitřního oscilátoru s možností nastavení frekvence, připojením kondenzátoru na pin OSC. Mezní hodnoty vnitřního signálu jsou uvedeny 60 – 200 kHz [4].

Důležité piny jsou vyznačeny v tab. 3.1. Nastavení hodnoty maximálního proudu je realizováno referenčním rezistorem připojeným na vstup N_{FA} případně N_{FB} . Proud se nadále nezvyšuje, dosáhne-li napětí na rezistoru hodnoty 0,5V (pro nastavení obou pinů TQ1, TQ2 na nulu). Výstupní proud lze vypočítat podle vztahu

$$I_{out}(A) = \frac{0,5(V)}{R_{NF}(\Omega)} . \quad (3.1)$$



Obr. 3.1: Blokové zapojení driveru TB6560 (převzato z [4]).

Tab. 3.1: Nejdůležitější piny driveru Toshiba TB6560

Vstup/výstup	Název	Funkce
vstup	ENABLE	Povoluje všechny výstupy
vstup	RESET	Nastavuje výstupy do jejich výstupní pozice
vstup	CLK	Signál sloužící k posunutí o jeden krok
vstup	M1, M2	Nastavení řídicího módu
vstup	TQ1, TQ2	Nastavení točivého momentu
vstup	CW/CCW	Nastavení směru otáčení
-	N _{FA} , N _{FB}	Nastavení maximálního proudu
vstup	DCY1, DCY2	Nastavení decay módu
výstup	OUT_AP, OUT_AM	Napájení A fáze krokového motoru
výstup	OUT_BP, OUT_BM	Napájení B fáze krokového motoru

Driver umožňuje několik režimů řízení. Všechny využívají bipolárního principu, můžeme si tedy zvolit, jestli zapojení motoru bude sériové nebo paralelní. Jednotlivé režimy řízení jsou nastavovány pomocí pinů M1, M2 a mohou být změněny během chodu. Přepnutím se však mění rychlost otáčení. Jednotlivé režimy jsou uvedeny v tabulce 3.2 včetně počtu mikrokroků [4].

Tab. 3.2: Tabulka řídicích režimů

Vstup		Režim	Počet mezikroků
M1	M2		
L	L	2-phase	0
L	H	1-2-phase	1
H	L	4W1-2-phase	14
H	H	2W1-2-phase	7

3.2 Využívané periferie ATmega16

3.2.1 Čítač/časovač 0

Je se o obvod, který počítá impulzy vstupního signálu (čítač), nebo odměřuje určitý časový úsek tím, že čítá počet impulzů do určité hodnoty registru. Tento čítač je 8bitový, může tedy čítat do hodnoty 255. Vstupní impulzy jsou odvozeny od vnitřní frekvence jádra procesoru pomocí 10-bitové předděličky. Pokud dojde k přetečení registru čítače nebo shodě s komparačním registrem, je zapsán příznak přerušení a čítač nulován nebo dále inkrementován [3].

Nejdůležitější registry čítače 0 jsou TCCR0 (Timer/Counter Control Register), který obsahuje nastavení čítače. Registr TCNT0 obsahuje aktuální hodnotu čítače/časovače. Registr TIMSK pak obsahuje masky přerušení společně pro všechny čítače. Registr TIFR obsahuje příznaky přerušení čítačů/časovačů. Hodnoty nastavení předděličky jsou zobrazeny v tab. 3.3 [3].

Tab. 3.3: Nastavení vstupu čítače (převzato z [3])

CS02	CS01	CS00	Popis
0	0	0	Čítač zastaven
0	0	1	$f_{clk IO}$
0	1	0	$f_{clk IO}/8$
0	1	1	$f_{clk IO}/64$
1	0	0	$f_{clk IO}/256$
1	0	1	$f_{clk IO}/1024$
1	1	0	Sestupná hrana vnějšího signálu
1	1	1	Náběžná hrana vnějšího signálu

3.2.2 Čítač/časovač 1

Tento čítač je zdokonalená varianta čítače 1. Jedná se o 16-bitový čítač s velkým množstvím nastavení výstupního signálu PWM, režimem generátoru kmitočtu a jednotkou IC, která umožňuje čítat čas mezi dvěma vnějšími událostmi. V aplikaci má úlohu generátoru kmitočtu, který slouží jako vstupní kmitočet pro driver. Jelikož se jedná o složitější a 16-bitový čítač, je jeho řídicí registr tvořen dvojicí registrů TCCR1A a TCCR1B. Registr TCNT1 opět uchovává 16-bitovou aktuální hodnotu čítače a OCR1A a OCR1B jsou registry komparační [3].

Všechny tyto registry jsou 16bitové. Přístup k nim je realizován pouze 8-bitovou sběrnici, a proto je k zápisu využit dočasný registr. Ten udržuje hodnotu horního bajtu a zápis celé 16bitové hodnoty se provede až po přístupu k dolnímu bajtu. Je potřeba zapisovat nejdříve bajt horní, poté bajt spodní a při čtení číst nejdříve spodní bajt a poté horní [3].

3.2.3 A/D převodník

Převodník A/D slouží k převedení analogové hodnoty na digitální a v této aplikaci je využíván pro získání informace z analogového joysticku. Převodník je 10bitový, rozlišuje tedy 1024 hodnot a dokáže multiplexně pracovat až s osmi kanály, které jsou připojeny k jednotlivým pinům portu A. Převodník funguje na principu postupné aproximace. Jako referenční napětí lze použít vnitřní referenci 2,56V nebo vlastní referenční napětí [3].

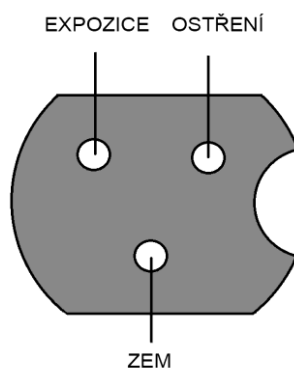
Vnitřní frekvence převodníku se nastavuje pomocí předděličky na hodnotu 50 kHz – 200 kHz. Se zmenšující se frekvencí se zvyšuje čas, potřebný k jednomu A/D převodu. Nastavení převodníku se provádí pomocí registrů ADCSRA a ADMUX. Výsledná hodnota je pak uložena do registrového páru ADCL/ADCH. Je možné zvolit způsob zarovnání výsledku nastavením bitu ADLAR z registru ADMUX tak, aby mohl být použit výstup jako 8bitový. Podle [3] je možné případě potřeby vypočítat hodnotu napětí na vstupu A/D převodníku pomocí vzorce

$$ADC = \frac{U_{vst} \cdot 1023}{U_{REF}} \quad (3.2)$$

3.3 Vzdálené spuštění expozice fotoaparátu

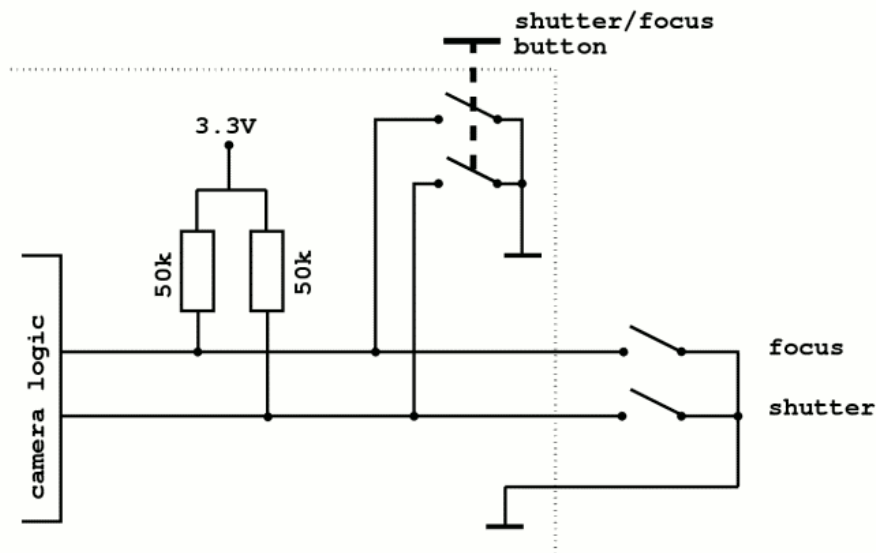
Vzdálené ovládání ostření a uzávěrky fotoaparátu je funkce implementovaná výrobcem fotoaparátu, umožňující exponovat jinak, než stiskem tlačítka spouště. Většina DSLR obsahuje odpalování pomocí infračerveného ovladače a konektor pro připojení externí drátové spouště. Vzdálené odpalování nachází hlavní využití při pořizování autoportrétů, fotografií s vysokými nároky na stabilní pozici fotoaparátu během expozice (noční fotografie, dlouhá uzávěrka, testovací fotografování) nebo při požadavcích přesného časového intervalu mezi snímky.

Jednoduché drátové spouště připojené ke konektoru fotoaparátu jsou konstruovány jako mechanické dvoupolohové spínače, přičemž jemné namáčknutí znamená zaostření a stisk aktivuje uzávěrku. Implementace se může lišit dle výrobce a modelu fotoaparátu, princip je však často totožný. Konektor použitý na fotoaparátu Canon 7D nese označení N3 a jeho získání je většinou spojené s demontáží některé ze spouští již zakoupených. Tvar a zapojení konektoru N3 je na obr. 3.2. Elektrické zapojení uvnitř fotoaparátu je znázorněno na obr. 3.3 [9].



Obr. 3.2: Konektor N3

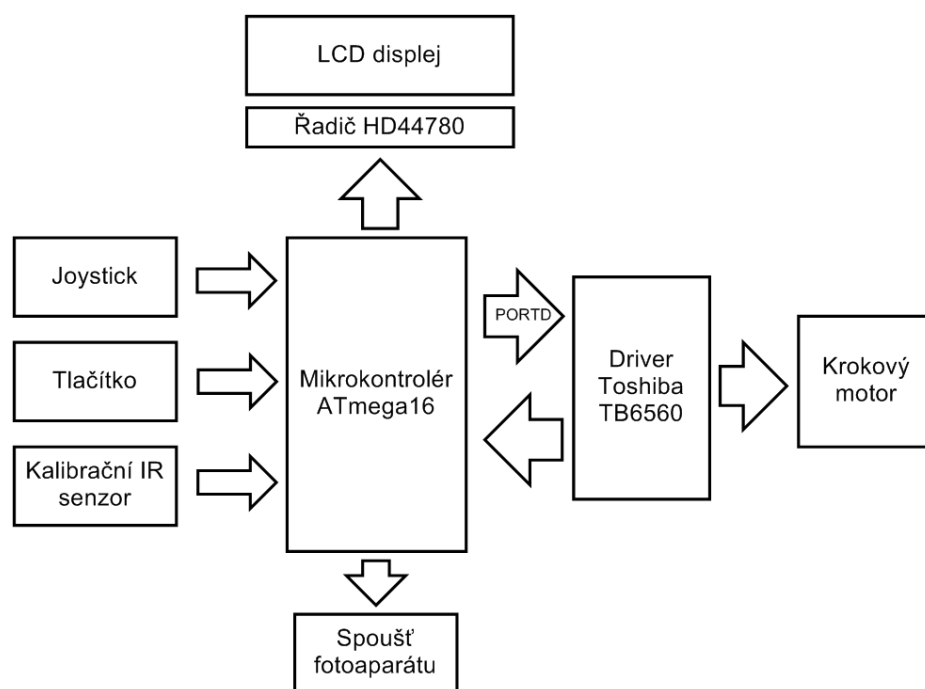
Ke spuštění je třeba připojit pin focus a shutter na zemní pin pomocí tranzistoru, relé, optočlenu nebo přímého připojení k MCU.



Obr. 3.3: Elektrické zapojení spouště (převzato z [9]).

4 NÁVRH OBVODU

Tato část se zaměřuje na popis vlastního řešení zapojení. Z důvodu potřeby velkého množství vstupně/výstupních pinů, A/D převodníku a několika čítačů je využito mikroprocesoru ATmega16. Jedná se o dobře dostupný mikroprocesor, který ovšem nijak nevyniká poměrem cena/výkon. Kvůli velkým rozměrům pouzdra DIP-40 je při návrhu použito pouzdra TQFP. Obrázek 4.1 popisuje základní blokové schéma aplikace.



Obr. 4.1: Základní blokové schéma zařízení

4.1 Propojení s MCU

Pomocí portu C je k procesoru připojen textový displej, který je řízen standardním řadičem LCD displeje HD44780. Tento displej je dvouřádkový a na každém řádku je možno zobrazit 16 znaků, což zcela dostačuje, jelikož uživateli je zobrazeno jen nezbytné minimum informací o provozu.

K portu A je na nejnižší 3 bity přiveden analogový signál z joysticku, respektive z potenciometrů X a Y a mikropínače. Portu A je využito, protože jsou na jeho piny připojeny vstupy A/D převodníků. Nejvyšší 2 piny jsou využity jako výstupní pro optočleny.

Nejnižší dva piny portu B původně propojovaly procesor a optočleny. Kvůli návrhu desky však byly přesunuty na port A, PB2 a PB3 slouží jako vstupy analogového komparátoru a jsou připojeny k obvodu infračerveného závoru. PB4 je připojen k indikační LED a nejvyšší piny MOSI, MISO a SCK propojují mikroprocesor a konektor SPI. Pomocí SPI je možno výrobek aktualizovat a přehrát novou verzi programu.

Port D je využit k propojení MCU s driverem krokového motoru. Jsou zde připojeny piny TQ1, TQ2 které ovládají výstupní proud vinutím motoru, pin Enable, povolující výstup driveru, pin Direction jehož vysoká úroveň znamená pohyb proti směru hodinových ručiček a pin Clock, kterým je pomocí kladných impulsů řízeno otáčení. Celé schéma zapojení je zobrazeno v příloze tohoto dokumentu.

Pomocí pinu PD3, sloužící jako externí přerušení INT0 je do procesoru přiváděn signál označený jako „initial state“ sloužící k počítání kroků motorů. Na pin je připojen externí pull-up rezistor 10kΩ. Pin PD2 je opět vstup externího přerušení pro přepínač režimů a je přes pull-up rezistor připojen k napájení.

Ostatní piny procesoru připojují krystal, napájecí napětí 5V, RESET a zem. Napájecí napětí je filtrováno kondenzátory 100nF na každém vstupním pinu dle doporučení výrobce.

4.2 Napájení

Celá konstrukce vyžaduje dvě hodnoty napájení. Řídící část (mikroprocesor, driver, display) a všechny části související s ovládáním jsou provozovány na napětí 5V a celkový proud nepřekračuje hodnotu 100mA. Napětí 5V je při běžném provozu odvozováno z napětí výkonové části pomocí lineárního stabilizátoru napětí LM7805, který dovoluje výstupní proud až 1A.

Podle doporučeného zapojení stabilizátoru je na vstupu a výstupu opatřen keramickými kondenzátory 330nF a 100nF. Výkonová část napájí krokový motor a z technické specifikace driveru je dána přípustná hodnota napětí mezi 4,5 – 34V. Maximální proud z driveru části je omezen z maximálního možného proudu 2 x 3,5A na 2 x 1A. Toto omezení je realizováno externími rezistory R2 a R3, které jsou připojeny na pin N_{FA} a N_{FB} driveru [5].

Jestliže napětí na rezistoru dosáhne hodnoty 0,5V je omezen proud do vinutí motoru. Výpočet hodnoty výstupního proudu jedné fáze popisuje rovnice

$$I_{out}(A) = \frac{0,5(V)}{R_{FN}(\Omega)} . \quad (4.1)$$

V aplikaci je využito dvou rezistorů 0,5Ω s maximálním ztrátovým výkonem 2W. Minimálním napájecím napětím 7V bude zajištěno dostatečné napětí $V_{min} = 7V$ ($V_{DROP} = 2V$) pro stabilizátor LM7805. Maximální napětí na vstupu stabilizátoru je 24V.

Stabilizátor lze od výkonového obvodu odpojit pomocí dvou jumperů. V tomto případě se řídící část stává závislá na napájení z konektoru ISP programátoru. Tento stav slouží ke galvanickému oddělení od vysokého napětí při programování procesoru pomocí ISP.

4.3 Propojení a nastavení driveru

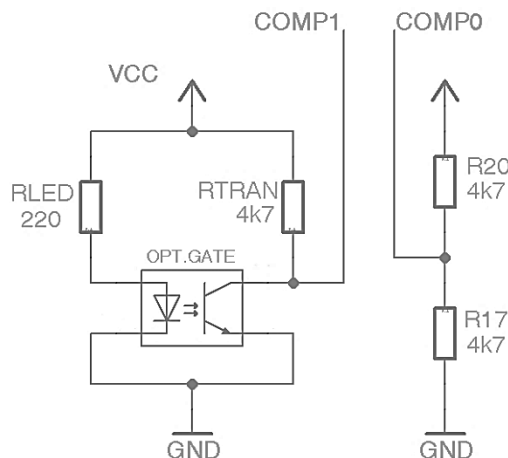
Kromě výše popsaných pinů je k driveru připojen kondenzátor 330pF na pin OSC, který nastavuje hodnotu vnitřního oscilátoru driveru a minimální šířku pulzu na Clock vstupu. Hodnota 330pF odpovídá oscilační frekvenci 130kHz a minimální šířce pulzu 30us, což je vzhledem k relativně nízkým rychlostem pohybu motoru v aplikaci dostačující. Přesný výpočet frekvence oscilátoru popisuje vzorec

$$f_{osc} = \frac{1}{C_{osc} \cdot 1,5 \cdot \frac{10}{C_{osc} + 1} \cdot \frac{1}{66}} \times 1000 kHz. \quad (4.2)$$

Piny M1, M2, DCY1, DCY2 slouží trvalému nastavení a jsou připojeny k DIP přepínači. M1 a M2 nastavují režim mikrokrokování a v aplikaci je nastaven režim „2W1-2-phase“ vysokými úrovněmi na obou. DC1 a DC2 nastavují režim úpadku proudu a jsou nastaveny oba na vysokou úroveň.

4.4 IR brána kalibrace

Ke kalibraci polohy zařízení je použita IR brána. Pomocí analogového komparátoru, který je vestavěný jako periferie ATmega16, je ušetřeno na externí součástce a zjednodušen návrh. K pinu AIN0 je přivedeno napětí 2,5V z odporového děliče a na pin AIN1 napětí z děliče fototranzistoru tak, jako je zobrazeno na obrázku 4.2.



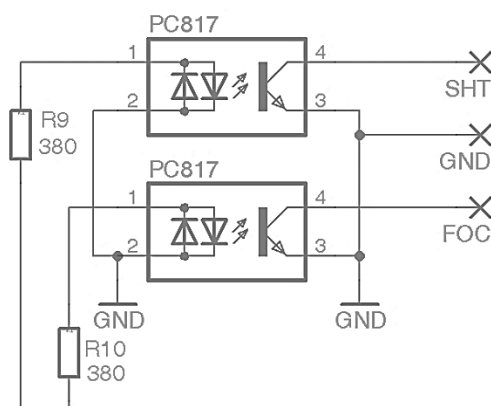
Obr. 4.2: Schéma zapojení kalibrační IR brány

Fototranzistorem protéká proud a na invertujícím vstupu komparátoru je hodnota blízká 0V. Ve chvíli přerušení světelného paprsku dojde ke zvýšení napětí na AIN1, až na hodnotu 5V přičemž hodnota nad 2,5V je vyhodnocena jako kalibrační signál.

4.5 Obvod dálkové spouště fotoaparátu

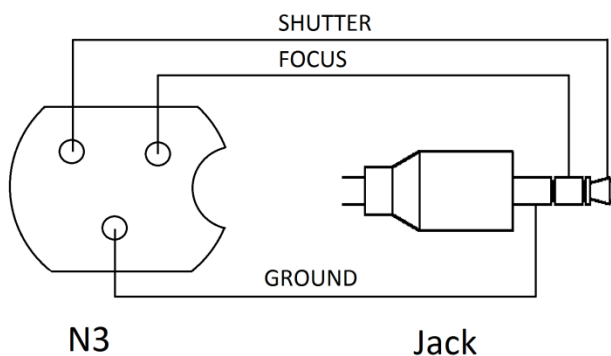
Tato část umožňuje automatické zaostření a vyfocení v režimu časosběru. Logická úvaha vede k využití pouze jednoho kanálu, připojující na uzemňující pin pouze Shutter (SHT), který slouží k pořízení snímku. Automatické ostření spouštěné pinem Focus (FOC) je ve většině případů nechtěné a je vyřazeno nastavením fotoaparátu do manuálního režimu. Z důvodu nízké cenové náročnosti a možného budoucího softwarového rozšíření však byl doplněn i Focus kanál.

Z důvodu bezpečnosti bylo navrženo galvanické oddělení obvodu fotoaparátu. To je realizováno pomocí jednoduchého a levného optočlenu PC817. Napětí 1,25V odpovídá proud 10mA protékající vstupním obvodem optočlenu. Tato hodnota odpovídá hodnotě 130% current transfer ratio. Uzavřeným obvodem digitálního fotoaparátu protéká maximální proud 68uA a je tedy možné připojit optočlen přímo jako spínač podle zapojení na obrázku 4.3.



Obr. 4.3: Schéma zapojení optočlenů

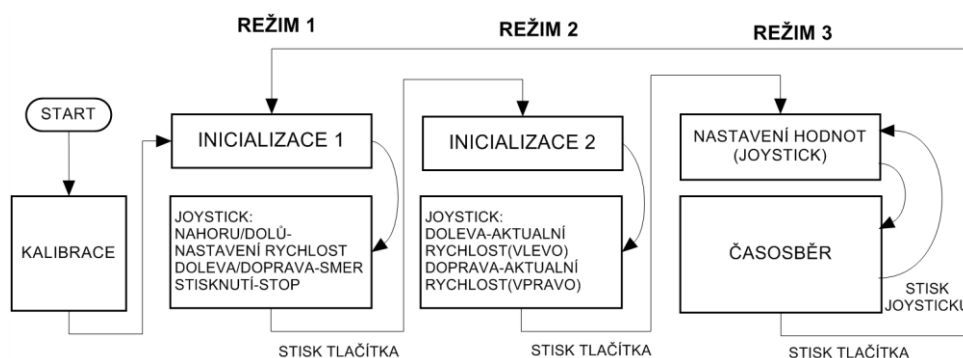
Obrázek 4.4 ukazuje zapojení kabelové redukce mezi N3 konektorem a jack konektorem. Použití konektoru jack umožňuje zpětnou kompatibilitu se staršími fotoaparáty, které využívají právě jack místo N3 konektoru a navíc umožňuje vytvoření redukce na jakýkoliv fotoaparát, který bude zpětně kompatibilní s elektrickým zapojením popsaným v teoretické části.



Obr. 4.4: Zapojení pinů kabelové redukce

5 ŘÍDÍCÍ PROGRAM

V této části jsou popsány základní principy využití k řízení krokového motoru, respektive jeho driveru a popsán program včetně jeho uživatelského rozhraní. Základní stavové schéma programu popisuje obrázek 5.1. Mezi jednotlivými stavy se přechází stiskem tlačítka MODE, které je připojeno na vnější přerušení INT0 a stiskem je inkrementována hodnota proměnné mode. Každý stav je reprezentovaný smyčkou `while()`, která je vykonávána, dokud je hodnota proměnné mode rovna hodnotě daného stavu. Ošetření zákmitů tlačítka je realizováno programově použitím zpoždění. Display je ovládán pomocí knihovny sestavené Peterem Fleuryem dostupné z [10].



Obr. 5.1: Stavový diagram aplikace.

5.1 Kalibrace

Jedním z cílů práce bylo sestavit zařízení, které bude fungovat na principu znalosti přesné polohy, která však bude určena jen jednou při počáteční kalibraci. Tímto se zařízení stává jedním z mála svého druhu, jelikož běžné motorové pohony svou polohu neznají a jsou odkázány pouze na použití koncových spínačů. Znalost polohy přináší množství výhod jako je například možnost opakování pohybu.

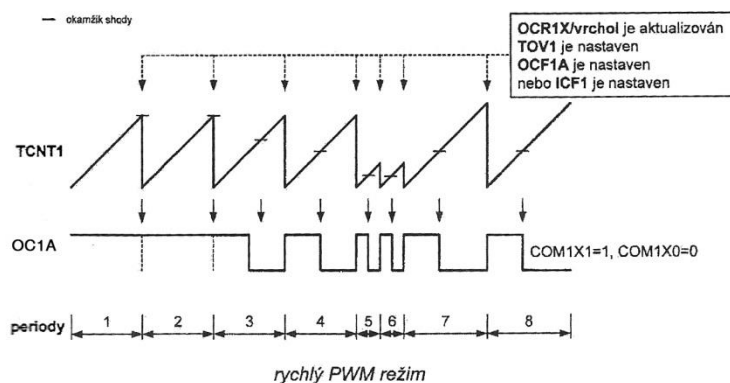
Dále je možné zařízení programovat na plynulý dojezd před koncem rozsahu slideru a tuto hranici si programově upravit. Každé připojení napájení nebo reset programu je spojeno s kalibrací. Nastavením registru ACSR na nulu se povolí analogová komparátor, spustí se pohyb směrem k optické bráně a čeká se, dokud není nastaven bit signalizující komparaci. Následně je zastaven pohyb a nastavena poloha na hodnotu MAX_{pos} . Vozík se poté vrací na pozici uprostřed slideru, která je nejvýhodnější především z důvodu vyvážení.

5.2 Generování impulzů pro driver

Aby byl zabezpečen plynulý pohyb motoru je potřeba generovat přesný kmitočet nezávisle na ostatních úlohách procesoru. Toho je docíleno použitím čítače/časovače 1 nastaveném v režimu Fast PWM jehož princip je zobrazen na obr. 5.2. Tento režim generuje signál se střídou 1:1. Jedná se o periférii, což uvolňuje veškerý výpočetní

výkon procesoru pro nadřazenou obsluhu. Nastavením komparačního registru OCRA je měněn výstupní kmitočet a tedy rychlost posuvu. Deaktivováním časovače dojde k zastavení.

Na základě výpočtu a experimentálního určení rozsahu byla vytvořena tabulka obsahující 256 hodnot s přesností 16 bitů, které kopírují lineární průběh zvyšování rychlosti. Změnou této tabulky lze změnit rychlost posuvu pro všechny režimy zároveň.



Obr. 5.2: Princip rychlého PWM režimu ATmega16 (převzato z [1]).

5.3 Režim 1

Tento režim umožňuje plynulý pohyb fotoaparátu omezený pouze fyzickými hranicemi vedení, které lze ovšem programově přizpůsobit a vytvořit tak virtuální A, B okraje. Pohyb joysticku nahoru a dolů mění maximální rychlost pohybu. Vychýlení doleva a doprava uvede vozík do pohybu v daném směru, stisknutí pak zastaví pohyb. Stiskem joysticku pokud není vozík v pohybu, se postupně nastaví hodnota virtuálního okraje A a B. Tento režim využívá třech základních funkcí `start_()`, `stop()` a `changeSpeed()`.

Samotný algoritmus zrychlení a zpomalení je v tomto režimu realizován pomocí druhého časovače. Ten je nastaven tak, aby docházelo k pravidelnému přetečení. Doba mezi jednotlivými přetečeními je přímo úměrná době zrychlování/zpomalování. Pomocí dříve zmíněných funkcí je nastavena hodnota určující směr (přičítání nebo odčítání) a maximální hodnota indexu v tabulce rychlostí. Při každém přetečení časovače dojde buď k inkrementaci, dekrementaci nebo ponechání stejného indexu tabulky rychlostí. Podle indexu je zapsána hodnota 16-bitového čísla do komparačního registru čítače/časovače 1 viz kapitola 5.2.

Takto je realizováno zrychlení a zpomalení pohybu bez nutnosti zabírat procesorový čas. Výhodou je možnost zpracování informace z joysticku během této operace a tedy možnost měnit rychlost, nebo samotné zpomalení uprostřed zrušit a pokračovat dále v pohybu. Nevýhodou je složité nastavení přesného času celého zrychlení/zpomalení. Ten je daný hodnotou předděličky časovače a komparačního registru OCR. Čas je navíc lineárně závislý na aktuální rychlosti. Této závislosti se částečně zbavuje funkce `speedSet()`, která podle aktuální rychlosti mění nastavení přetečení čítače/časovače 2 a tím v několika krocích nastavuje vhodný čas.

Při překročení koncové pozice je spuštěna funkce `stop_delayed`, která deaktivuje fungování popsané v předchozím textu a provede zpomalení na nulu pomocí programového zpoždění. Následuje funkce `start_delayed`, která provede zrychlení opačným směrem a aktivuje předchozí algoritmus. Výhody spojené s využitím časovače na zrychlování jsou v tomto případě nechtěné, proto je využito programového zpoždění, které znemožní uživateli přesáhnout fyzickou hranici slideru.

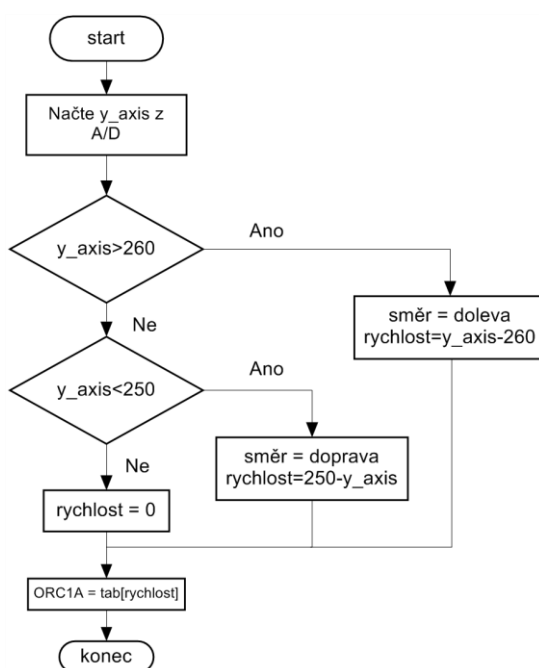
V celém programu je aplikována myšlenka, že v případě stacionární polohy jsou na piny driveru TQ1 a TQ2 přivedeny vysoké logické úrovně, čímž se proud protékající vinutím motoru zmenší na 25% maximální hodnoty.

5.4 Režim 2

Tento režim umožňuje měnit rychlost pohybu fotoaparátu v závislosti na vychýlení joysticku. Pohyb je softwarově omezený na hranice slideru a tyto hranice jsou uživatelsky neměnné. Výchylka joysticku určuje jak rychlost, tak směr pohybu vlevo nebo vpravo.

Základní funkce tohoto režimu je `joystick_read()`, jejímž úkolem je načtení hodnoty z A/D převodníku a její následné zpracování. Funkce načte 10-bitovou hodnotu z převodníku a bitovým posunem doprava vytvoří 9-bitovou hodnotu. Pro hodnoty 0-255 je nastaven směr vlevo a pro hodnotu 256-512 vpravo.

Hodnota rychlosti je vypočtena viz obrázek 5.3. Rozsah 260-250 je vyhrazen jako odchylka mechanické konstrukce joysticku. Výstupem je hodnota 0-255 a směr pohybu. Tyto hodnoty jsou pomocí funkce `motor()` a tabulky rychlosti nastaveny na výstup pro driver. Funkce `motor()` v případě nulové rychlosti deaktivuje generování řídicího signálu.



Obr. 5.3: Vývojový diagram druhého režimu.

5.5 Režim 3 (časosběr)

Velikost jednoho kroku časosběru odpovídá vzdálenosti mezi dvěma impulzy, přicházejícími z driveru. Tento impuls odpovídá čtyřem krokům bez mikrokrokování, což je díky převodům přibližně 1mm lineárního pohybu vozíku. Uživatel nastavuje joystickem počet kroků mezi jednotlivými snímky v rozmezí 1 až 255 a časovou prodlevu mezi jednotlivými snímky v rozmezí 1 sekunda až 4min a 15s. Po stisku joysticku je vozík přesunut na pozici 0 a spuštěna sekvence fotografování. Uživatel je informován o počtu pořízených snímků a čase do nejbližšího snímku. Uživatel má možnost přerušit pohyb dlouhým stisknutím joysticku, je zobrazen počet vyfotografovaných snímků a je navrácen zpět na nastavení parametrů.

Tento režim využívá funkci `TL_valueInput()` a `moveTL()`. První načítá hodnotu polohy joysticku, mění hodnoty příslušných proměnných a vypisuje aktuální nastavení na display. O převod dekadického čísla do šedesátkové soustavy se stará funkce `getTime()`. Funkce vrací 16-bitové číslo, jehož horních 8 bitů vyjadřuje počet kroků pro posun a spodních 8-bitů dobu čekání mezi kroky.

Druhá funkce vykonává samotný pohyb podle nastavených parametrů. Využívá funkci `takePic()`, kterou je aktivováno vyfocení fotografie a `posun_o_x()`, která provede posun. V cyklu `for` je provedeno 1s zpoždění, je vypsán zbývajících čas a testován požadavek na přerušování časosběru.

Funkce `posun_o_x()` a `posun_na_x()` jsou funkce použitelné kdykoliv od okamžiku úspěšné kalibrace, které umožňují přesun vozíku na absolutní polohu, nebo relativně vůči aktuální poloze. Rychlost pohybu byla nastavena konstantně, proto jsou vhodné pouze pro režijní přesun vozíku. Uživatel k těmto funkcím nemá přístup. Celý zdrojový kód je připojen v digitální příloze bakalářské práce.

5.6 Režim načtení pohybu

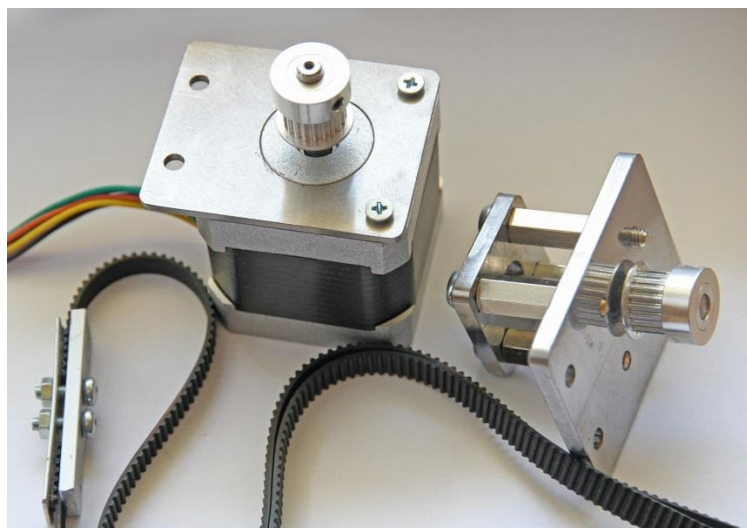
Zadání bakalářské práce zahrnuje zvažování funkce, která by načítala nestejnoměrný pohyb vozíku a dokázala jej zopakovat. Během návrhu bylo od této myšlenky upuštěno a to z několika důvodů:

Trakční systém motoru zavádí do systému nezanedbatelné tření, které omezuje operátora v provedení zcela plynulého pohybu. Omezení se na průměrnou rychlost by zbytečně navýšilo složitost aplikace, jelikož je možné tento pohyb nastavit v prvním režimu, omezením rozsahu body A a B. Levné mechanické inkrementální enkodéry mohou přidávat další tření a jejich rozlišení je pouze v řádu desítek pulzů na otáčku. Optické enkodéry jsou příliš drahé pro účely této aplikace, jejímž primárním cílem není čtení mechanického pohybu.

V rámci konstrukce by musel být doplněn optický inkrementální senzor, připojený na dvě externí přerušování pro využití maximálního rozlišení. V periodických intervalech daných časovačem by byl zaznamenáván počet impulzů v jednotlivých intervalech a tato hodnota uložena do vnitřní nebo externí paměti. Z počtu impulzů by přepočtem vznikla doba mezi dvěma impulzy shodná vždy pro jeden interval. Pomocí této hodnoty by byly generovány impulzy. Prostorové rozlišení a také paměťovou náročnost by určoval interval zaznamenávání impulzů.

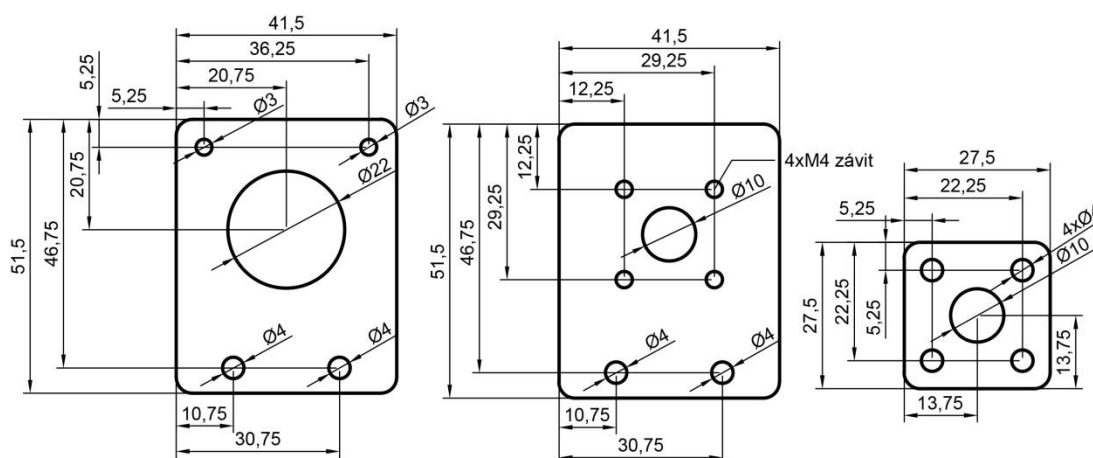
6 MECHANICKÁ KONSTRUKCE

Tato část pojednává o řešení mechanické konstrukce, která souvisí s lineárním posunem kamery. Při mechanické konstrukci bylo vycházeno z modelu lineárního vedení, který již byl zakoupen, a bylo potřeba doplnit trakční část. Zvolena byla varianta řemene uchyceného mezi dvě řemenice na osách. Jedna osa je vytvořena z osy krokového motoru a ten pomocí uchycovací desky připevněn na jednu stranu vedení. Druhá osa je uchycena pomocí dvou ložisek ve vytvořené konstrukci viz obrázek 6.1.



Obr. 6.1: Trakční část

Řemen je pomocí dvou hliníkových profilů svěrně spojen a tento hliníkový profil přesně zapadá do prostoru pod vozíkem slideru. Pomocí šroubu je hliníkový profil uchycen k vozíku a tímto je zajištěn přenos pohybu z motoru na vozík. V případě nevyužití elektrického posuvu je možné jednoduše povolit šroub spojující řemen a vozík a použít vozík samostatně, bez přídavného tření trakční části. Toto řešení bylo navrženo s ohledem na možnost rychlého a jednoduchého přizpůsobení způsobu pohonu.



Obr. 6.2: Návrh dílů sloužících k uchycení trakční části.

Při návrhu bylo využito otvorů na obou koncích vedení a závitů původně sloužících k připevnění nožiček. V softwaru AutoCAD bylo navrženo několik dílů, jejichž funkce je upevnění motoru a osy. Tyto díly byly vyrobeny na CNC fríze ze železa, což se díky jejich malé velikosti nijak závratně neprojevovalo na hmotnosti zařízení. Obrázky jednotlivých dílů jsou znázorněny na obrázku 6.2.

Zařízení je umístěno v plastové krabici viz obr. 6.3, kde je vyřezán otvor pro display joystick a tlačítka MODE. Motor je připojen pomocí 5-žilového kabelu. Tento kabel je stíněný a pomocí zbývajících dvou vodičů by bylo možné přenést také kalibrační signál. Bylo by však potřeba napájet externě LED diodu emitoru a proto je mezi řízením a sliderem ještě jeden vodič, který sloučí k připojení infračervené brány.



Obr. 6.3: Řídicí jednotka v plastové krabici.

7 ZHODNOCENÍ VLASTNOSTÍ

Tato část se věnuje vyhodnocení vlastností zařízení jako je přesnost, spotřeba a spolehlivost. Jsou diskutovány možnosti dalšího vylepšení a rozšíření.

7.1 Časová přesnost

Vzhledem k charakteru aplikace nebyly přesně odpočítány počty instrukcí mezi jednotlivými fotografiemi, a proto zařízení projevuje jistou nepřesnost při měření času mezi fotografiemi v režimu časosběru. Zpoždění je realizováno voláním funkce `_delay_ms()` s parametrem 1000, tedy 1s. Analýzou programu objevíme 3 zdroje nepřesnosti. Do zpoždění není započtena doba přesunu mezi dvěma polohami fotoaparátu, samotná expozice trvá 300ms a zpoždění přidává také část kódu, která každou sekundu kontroluje požadavek přerušení fotografování. Každý zdroj nepřesnosti se začne projevovat při jiném nastavení. Tabulka 7.1 ukazuje průměr 10 měření při různých nastaveních času a posunu mezi dvěma fotografiemi a je možné v ní pozorovat všechny základní zdroje nepřesností a jejich přibližné hodnoty.

Tab. 7.1: Měření času mezi dvěma fotografiemi v závislosti na vzdálenosti přesunu

Zadaný čas [s]	Posun [krok]		
	1	50	255
1	1,39s	2,64s	7,9s
5	5,52s	6,78	12,13s
60	62,33s	65,7s	70,49s

Z prvního sloupce tabulky je patrná nepřesnost způsobená samotným vyfotografováním. Největší nepřesnost samotnou expozicí pozorujeme při malém posuvu a krátkém čase. Tato nepřesnost je vždy stejně malá (300ms), a proto je do jisté míry zanedbatelná nebo s ní můžeme počítat. Další dvě nepřesnosti jsou však závislé na počtu opakování. Třetí řádek prvního sloupce ukazuje, jakou nepřesnost může zavést několik instrukcí mezi jednotlivými voláními funkce `_delay_ms()`. Při 60 opakováních je tato nepřesnost asi 2s. Největší nepřesnosti zavádí posun vozíku. Ze změřených hodnot je patrné, že zpoždění způsobené posunem o jeden krok je asi 26ms. Při 255 krocích je toto zpoždění asi 6,51s.

Tyto hodnoty by bylo možno vylepšit. Zkrácením doby expozice by však mohlo dojít k nepořízení fotografie, případně rozmazání fotografie. Zpoždění voláním a režii se periodicky opakuje a mohlo by být odečteno od 1s zpoždění jednoho cyklu. Mohla by také být zvýšena rychlost přesunu, což by způsobilo trhavé pohyby fotoaparátu. Lepším řešením je použít k pohybu místo programového zpoždění časovače a počítat čas bez přesunu. Při běžném používání však nenastávají extrémní hodnoty nepřesností a zařízení bude fungovat dobře.

7.2 Energetická bilance

Měření ukázalo, že samotná digitální část odebírá proud 75mA, což při napájení 12V odpovídá příkonu 0,9W. Celý displej včetně podsvícení odebírá proud 24mA. Ztráta na lineárním stabilizátoru, při napájecím napětí 12V je dána úbytkem napětí násobeným protékajícím proudem a je 0,525W. Tato hodnota se bude zvyšovat se zvyšujícím se napájecím napětím podle vztahu

$$P_{ztrata} = (U_{vst} - 5) \cdot 0,075 [W]. \quad (7.1)$$

Při použití vyššího napájecího napětí by bylo možné nahradit lineární stabilizátor DC-DC měničem, jejichž účinnost se pohybuje kolem 90% a nedochází ke zbytečným výkonovým ztrátám. Odběr řídicí části je však poměrně nízký oproti proudu, který protéká cívkami krokového motoru. Při napájení 12V zcela dostačuje jednoduchá lineární stabilizace. Stabilizátor byl doplněn chladičem, který pomáhá odvodu tepla. Napájecí napětí by nemělo překročit hodnotu 25 V, které výrobce stabilizátoru uvádí jako maximální vstupní napětí.

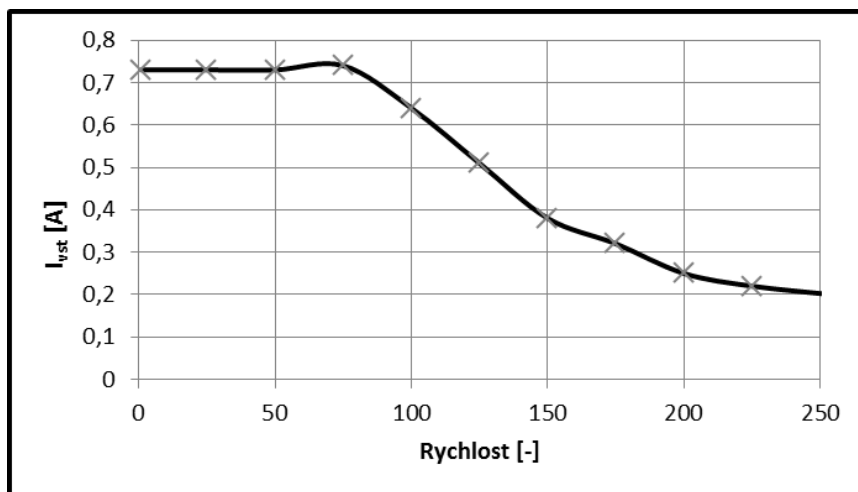
Očekávaná spotřeba celého zařízení podle datasheetu driveru a použitých nastavovacích rezistorů je 2A + odběr řídicí elektroniky. Měření však ukázalo, že maximální vstupní proud se pohybuje okolo 0,73A. Hodnota proudu je závislá na typu pohybu, rychlosti a také na nastavení pinů TQ1 a TQ2. Tabulka 7.2 ukazuje proudový odběr při různých stavech, vodorovném pohybu a nulovém zatížení pohybujícího se vozíku. Proud je závislý na rychlosti pohybu podle grafu na obrázku 7.1.

Tab. 7.2: Příkon a odebíraný proud při napájení 12V

Stav	Vstupní proud při 12V	Příkon
Stacionární poloha (TQ1,TQ2 vysoká úroveň)	0,12A	1,44W
Časosběr stacionární poloha	0,13A	1,56W
Časosběr pohyb	0,73A	8,76W
Pohyb	0,2 - 0,73A	2,4 – 8,76W

Poměrně nízká hodnota odebíraného proudu dovoluje používat zařízení bez přídavného chlazení driveru v řádu několika desítek minut. Stejně jako v případě stabilizátoru je však driver opatřen chladičem. Vysvětlení menšího vstupního proudu oproti předpokládané hodnotě může být několikero.

Hodnota na pouzdře použitého rezistoru značí $0,57\Omega \pm 5\%$. Maximální hodnota by tedy měla dosahovat $0,6\Omega$. Takováto hodnota odpovídá maximálnímu výstupnímu proudu 1,66A. Měřením byla zjištěna hodnota rezistoru $1,1\Omega$, tedy maximální proud 0,9A, který se již velmi blíží hodnotě naměřené. Dalším důvodem může být použití napětí 12V, které nemusí dostatečně rychle dodávat energii do cívek motoru.



Obr. 7.1: Graf závislosti celkového odběru proudu na rychlosti otáčení

Testováním při elevačním úhlu 45° a hmotností zátěže 2kg byla zjištěna spolehlivá funkce při posuvu. Omezený proud protékající při stacionární poloze však nedokázal udržet vozík ve stacionární poloze a proto je vhodné pro tyto podmínky deaktivovat energetické úspory v podobě zmenšení proudu.

7.3 Možnosti doplnění

Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.6, aplikace by mohla být rozšířena mechanickou zpětnou vazbu pomocí optického enkoderu. Při sériové výrobě by bylo vhodné se zamyslet také nad použitým driverem. TB6560 je velice vybavený čip umožňující velké výstupní proudy. Ty však z výsledků měření nejsou zapotřebí a proto by mohly být ušetřeny prostředky použitím levnější součástky s menším maximálním proudem. Zařízení by mohlo být doplněno o modul bluetooth a možnost bezdrátového ovládání pomocí mobilního telefonu.

Další zlepšení by se mohlo týkat výměny levného joysticku za kvalitnější. Potenciometry joysticku totiž dosahují svých maximálních a minimálních hodnot již v polovině svého fyzického rozsahu a to snižuje přesnost řízení. Také by bylo možné zmenšit LCD display zařízení, tím i celou DPS a dosáhnout kompaktnějších rozměrů.

Poměrně nepraktické je potřeba dvou oddělených vodičů mezi motorem a řídicí jednotkou. Více žilový kabel, nebo obvod usměrňovače by pomohl redukovat jeden vodič. Jedním z praktických doplnění by byla výměna konektoru pro připojení fotoaparátu tak, aby nebyl zaměnitelný s kalibračním. Špatným propojením může dojít k připojení fotoaparátu k vysoké úrovni napětí a jeho poškození.

Některá tato doplnění by značně zvyšovaly výrobní cenu, jiné byly během návrhu nedomyšleny a z časových důvodů ponechány. Během návrhu také začalo vznikat zařízení, které má pokrýt jinou potřebu při natáčení digitální zrcadlovkou. Mikroprocesorem řízené ovládání až třech servomotorů, které se starají o ostření, zoom a ovládání clony objektivu. Zařízení využívá enkoder k digitalizaci vstupní polohy a ta je přenášena na servomotor. Hlavní výhodou je pak možnost uložení pozice A a B všech třech kanálů a jejich současný plynulý přechod.

8 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo sestavit řídicí jednotku a naprogramovat vhodné ovládání zařízení pro posuv fotoaparátů a kamer (sliderů), navrhnout zapojení a způsob řízení posunu, vybrat vhodné komponenty a otestovat vlastnosti zařízení. Jako hlavní komponenty byly zvoleny mikroprocesor ATmega16 a driver krokového motoru Toshiba TB6560. K samotnému posuvu je určen krokový motor, který umožňuje velmi přesné nastavení polohy a rychlosti. Hlučnost motoru byla omezena použitím mikrokrokování.

Teoretická část se zabývá popisem všech realizovatelných zapojení a konstrukcí krokového motoru. Jsou v ní také zahrnuty jednoduché metody řízení pomocí mikrokontroléru a popsán princip metody řízení využívající mikrokrokování.

Návrh uživatelského rozhraní upřednostňuje jednoduchost, využití multifunkčního joysticku, LCD displeje a jednoho tlačítka k přepínání režimů. Bylo navrženo zapojení a plošný spoj v programu Eagle a sestavena řídicí jednotka. K programování mikroprocesoru bylo využito prostředí AVR Studio.

V rámci programu byly vytvořeny tři režimy pohybu pokrývající potřeby videa i časosběrného snímání fotografií. Bylo navrženo galvanicky oddělené propojení spouště fotoaparátu s řídicí jednotkou, vyhovující velkému množství fotoaparátů značky Canon.

Byla vytvořena kalibrační část, která odlišuje zařízení od podobných, schopností pracovat se svou absolutní polohou. Pomocí programu AutoCAD byly navrženy součásti pro uchycení trakční části na slider. Řízení umožňuje plynulý pohyb mezi krajními polohami s možností nastavit virtuální krajní polohu, plynule měnit rychlost, automaticky zpomalovat, zrychlovat nebo nastavit rychlost v závislosti na výchylce joysticku. Režim časosběru umožní vytvořit zrychlené video s reálnou dobou snímání až 70 hodin.

Zařízení je napájeno pomocí síťového zdroje 12V a je možno použít i většinu notebookových zdrojů nebo externí baterii. Zařízení je umístěno v plastové krabičce a s motorem propojeno pomocí 5-žilového kabelu s konektorem DIN. Spolehlivost zařízení byla otestována pořízením ukázkového časosběrného záznamu a krátkou videosekvencí.

Další vylepšení by mohlo zahrnovat optimalizaci výkonu driveru krokového motoru, přidání mechanické zpětné vazby pomocí optického enkodéru nebo vylepšení vzhledu.

LITERATURA

- [1] MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR ATmega16*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 319 s. µC. ISBN 80-730-0174-8.
- [2] RYDLO, P. Krokové motory a jejich řízení. Elektronické skriptum. Liberec: FMMIS TU v Liberci, 2000.
- [3] *Datasheet ATmega16: 8-bit Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash* [online]. 2010 [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>
- [4] *Datasheet TOSHIBA BiCD Integrated Circuit Silicon Monolithic TB6560AHQ, TB6560AFG* [online]. 2009 [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: http://www.toshiba.com/taec/components2/Datasheet_Sync/382/27885.pdf
- [5] *Datasheet LM78XX / LM78XXA 3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator* [online]. 2013 [cit. 2014-24-05]. Dostupné z: <http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM7805.pdf>
- [6] *Industrial Circuits Application Note Microstepping* [online]. 1998 [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: <http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/StepperMicrostep.pdf>
- [7] Krokové motory. In: ŘEZÁČ, Kamil. *Robotika.cz* [online]. 2002 [cit. 2013-12-12]. Dostupné z: <http://robotika.cz/articles/steppers/>
- [8] Krokové motory 1: typy motorů. In: *Robodoupe: web o robotice* [online]. 2013 [cit. 2013-12-12]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2013/krokove-motory-1-typy-motoru/>
- [9] DIY wired remote control for Canon EOS cameras. *Www.doc-diy.net: The page for advanced do-it-yourself projects* [online]. 2011 [cit. 2013-12-13]. Dostupné z: http://www.doc-diy.net/photo/eos_wired_remote/
- [10] *Peter Fleury Online: AVR Software. Peter Fleury Online* [online]. 2006 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://homepage.hispeed.ch/peterfleury/avr-software.html>
- [11] *Step-by-step motor* [patent]. Užitný vzor, US1536021 A. Uděleno 28. duben 1925. Dostupné z: <http://www.google.com/patents/US1536021>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

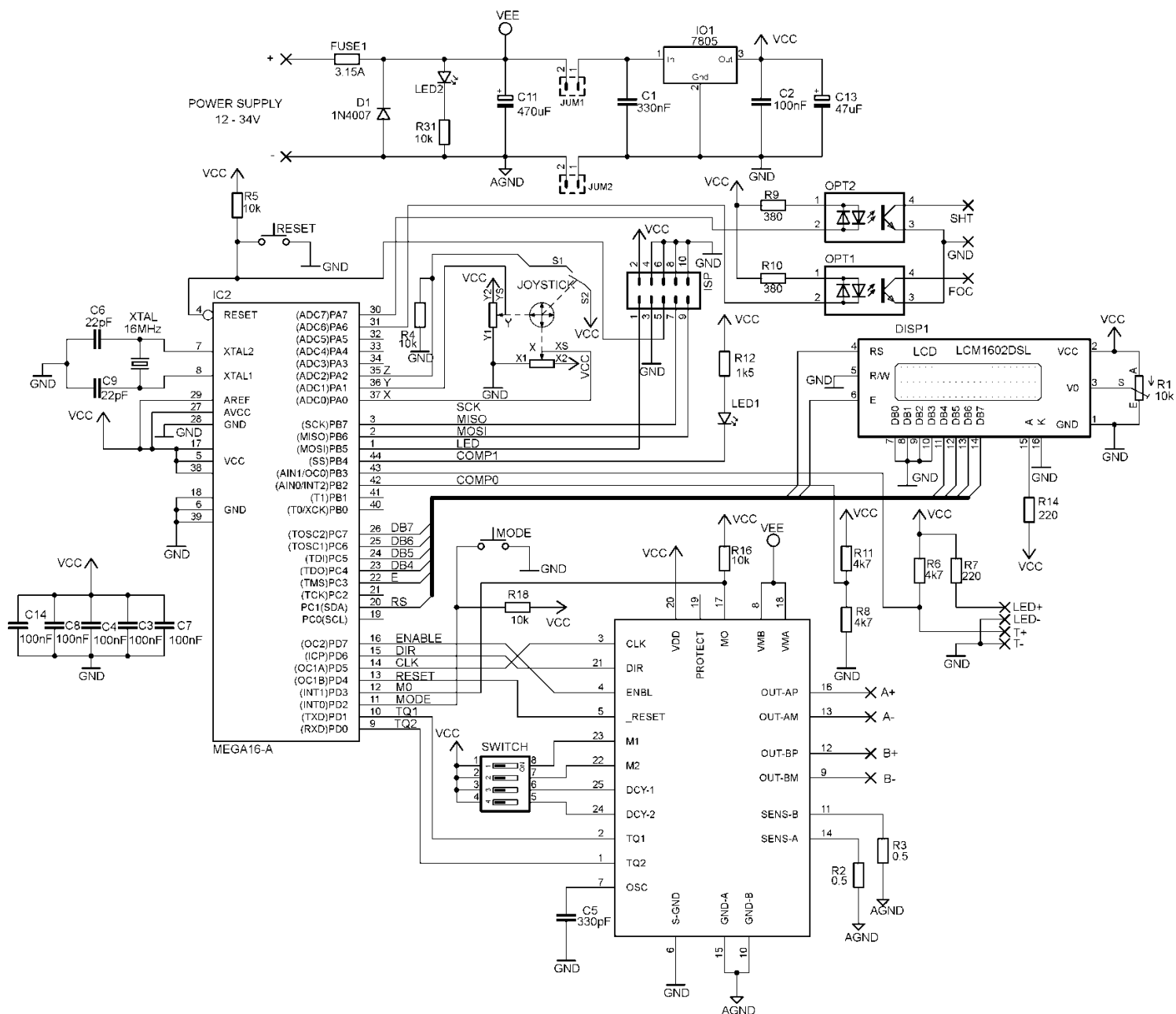
<i>AVR</i>	označení rodiny 8bitových a 32bitových procesorů firmy Atmel
<i>LCD</i>	displej z tekutých krystalů
<i>DSP</i>	deska plošných spojů
<i>V</i>	volt
<i>A</i>	ampér
Ω	ohm
<i>DSLR</i>	digital single-lens reflex camera
<i>CNC</i>	computer numeric control
<i>PWM</i>	pulse width modulation
α	velikost kroku
β	statický úhel zátěže
M_s	statický moment
f_k	kmitočet kroků
f_s	kmitočet řídicího signálu
<i>DIP</i>	dual in-line package
<i>TQFP</i>	thin quad flat pack
<i>SMD</i>	surface mount device
<i>DC</i>	direct current

SEZNAM PŘÍLOH

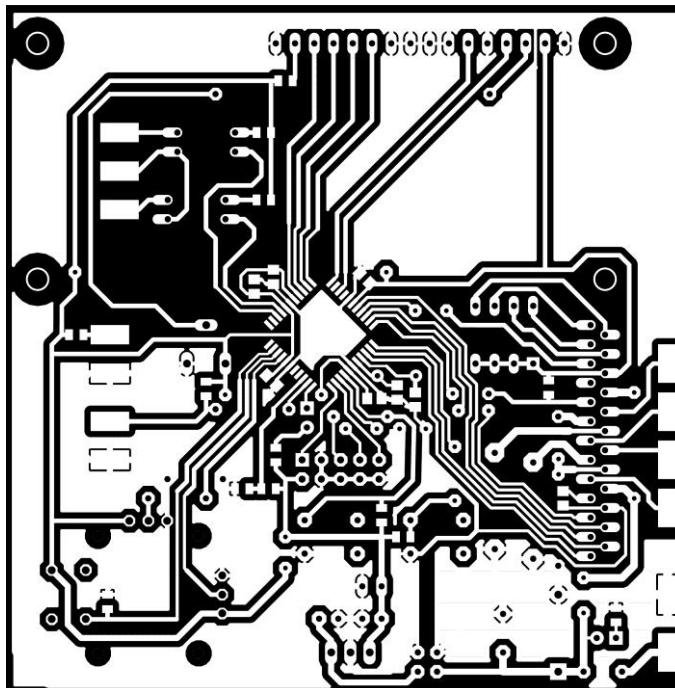
A	Návrh zařízení	43
A.1	Obvodové zapojení	43
A.2	Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)	44
A.3	Osazovací plán	44
A.4	Fotografie konstrukce	45
B	Seznam součástek	46

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

A.1 Obvodové zapojení

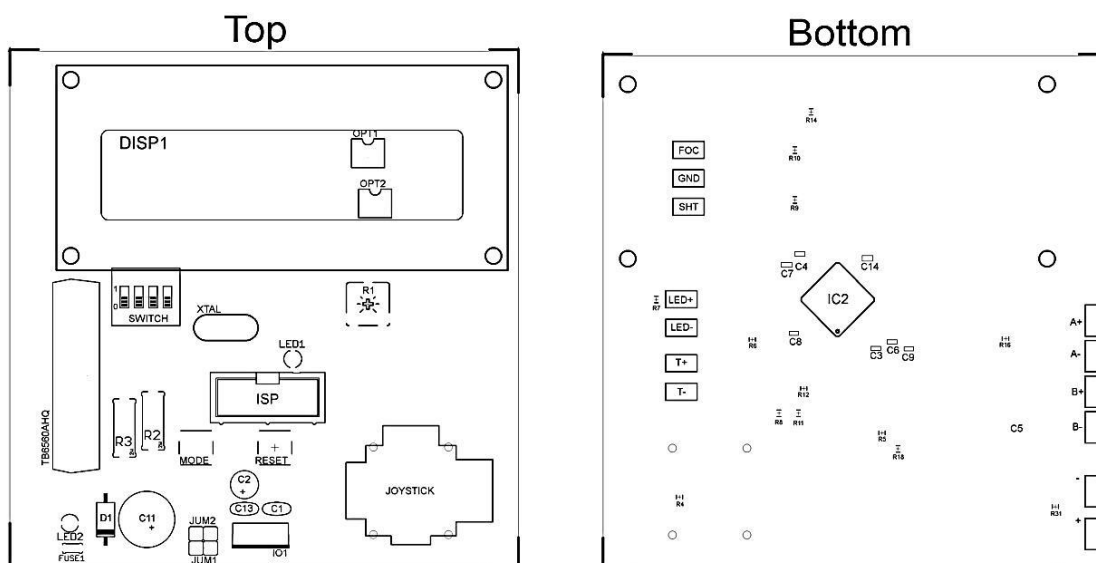


A.2 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 90 x 90 [mm], měřítko M1:1

A.3 Osazovací plán



A.4 Fotografie konstrukce



B SEZNAM SOUČÁSTEK

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	330n	C025-050X050	Keramický kondenzátor
C2,C3,C14, C4, C7,C8	100n	C025-050X050	Keramický kondenzátor
C3	10u	C0805	Keramický kondenzátor
C5	330p	C0805	Keramický kondenzátor
C6,C9	22p	C0805	Keramický kondenzátor
C11	470u/36V	C025-050X050	Elektrolytický kondenzátor
C13	47u/36V	C025-050X050	Elektrolytický kondenzátor
R1	10k	CA6V	Potenciometr
R2, R3	0,5	R-2W	Rezistor
R4, R5, R18,R13, R16, R31	10k	R0805	Rezistor
R6, R8, R11, R17, R20	4k7	R0805	Rezistor
R7, R14	220	R0805	Rezistor
R12,	1k5	R0805	Rezistor
R30	470	R0805	Rezistor
R9, R10,	390	-	Rezistor
FUSE1	3,15A - fast	8,4x7,6mm	Pojistka
IC2	ATmega16	TQFP44	Mikrokontrolér
IO1	7805	TO-220	Stabilizátor napětí
IC2	TB6560	ZIP25	Driver
XTAL	16MHz	HC49US	Krystal
JP1, JP2	-	-	Jumper
D1	1N4007		Dioda
ISP			Konektor ISP 2x5
JOYSTICK	-	-	Joystick
LED1, LED2	2V/2mA	3mm	LED
MODE, RESET	-	6x6mm	Mikrospínač
OPT1, OPT2	4N26	DIL04	Optočlen
SWITCH	-	DIP-4X	DIP přepínač
DISP1	-	-	LCD display (HD44780)